

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

02.09.2004

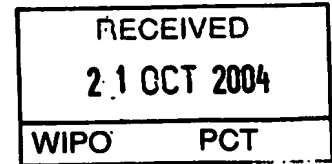
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 7 月 1 7 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 2 7 5 8 9 6
Application Number:
[ST: 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 2 7 5 8 9 6]

出 願 人 松下電器産業株式会社
Applicant(s):

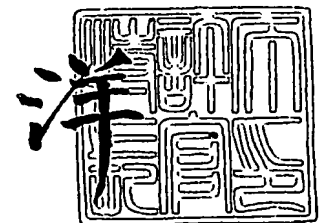


PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 1 0 月 7 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



BEST AVAILABLE COPY

出証番号 出証特 2 0 0 4 - 3 0 9 0 2 0 5

【書類名】 特許願
【整理番号】 2036450055
【提出日】 平成15年 7月17日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01L 27/088
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1006番地 松下電器産業株式会社内
 【氏名】 七井 識成
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1006番地 松下電器産業株式会社内
 【氏名】 脇田 尚英
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1006番地 松下電器産業株式会社内
 【氏名】 竹内 孝之
【特許出願人】
 【識別番号】 000005821
 【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100097445
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 岩橋 文雄
【選任した代理人】
 【識別番号】 100103355
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 坂口 智康
【選任した代理人】
 【識別番号】 100109667
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 内藤 浩樹
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 011305
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 9809938

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

基板上に形成された薄膜トランジスタであって、前記薄膜トランジスタの半導体層が、少なくとも有機半導体とナノチューブ（NT）を複合して形成した複合系半導体層を含むように構成した薄膜トランジスタ。

【請求項 2】

前記複合系半導体層は、少なくとも前記有機半導体の材料と前記ナノチューブの材料とを混合してなる複合系半導体材料から形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の薄膜トランジスタ。

【請求項 3】

前記複合系半導体層は、少なくとも前記ナノチューブ 1 本ずつの周囲を前記有機半導体の材料で被覆した複合系半導体層であることを特徴とする請求項 1 から 2 のいずれかに記載の薄膜トランジスタ。

【請求項 4】

前記複合系半導体層は、前記ナノチューブおよび前記有機半導体の少なくともいずれかが所定の方向にほぼ配向しているように形成されていることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれかに記載の薄膜トランジスタ。

【請求項 5】

前記ナノチューブは、カーボンナノチューブ（CNT）であることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれかに記載の薄膜トランジスタ。

【請求項 6】

前記有機半導体の材料は、高分子系有機半導体材料であることを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれかに記載の薄膜トランジスタ。

【請求項 7】

前記高分子系有機半導体材料は、チオフェン系材料であることを特徴とする請求項 6 に記載の薄膜トランジスタ。

【請求項 8】

前記有機半導体の材料は、低分子系有機半導体材料であることを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれかに記載の薄膜トランジスタ。

【請求項 9】

前記低分子系有機半導体材料は、アセン系材料であることを特徴とする請求項 8 に記載の薄膜トランジスタ。

【請求項 10】

前記基板は、プラスチック板および樹脂フィルムの少なくともいずれかであるように構成した請求項 1 から 9 のいずれかに記載の薄膜トランジスタ。

【請求項 11】

基板上に形成された薄膜トランジスタの製造方法であって、前記薄膜トランジスタの半導体層を形成する工程が、少なくとも有機半導体の材料とナノチューブの材料を複合して作製した複合系半導体材料をあらかじめ用意する第 1 の工程と、前記複合系半導体材料を使用して複合系半導体層を形成する第 2 の工程と、を含むことを特徴とする薄膜トランジスタの製造方法。

【請求項 12】

前記第 1 の工程は、前記有機半導体の材料と前記ナノチューブの材料とを混合する工程を含むことを特徴とする請求項 11 に記載の薄膜トランジスタの製造方法。

【請求項 13】

基板上に形成された薄膜トランジスタの製造方法であって、前記薄膜トランジスタの半導体層を形成する工程が、有機半導体の材料の溶液中にナノチューブを浸漬した複合系半導体材料の溶液を用意する第 1 の工程と、前記複合系半導体材料の溶液を濃縮し析出する第 2 の工程と、を含むことを特徴とする薄膜トランジスタの製造方法。

【請求項 14】

前記第1の工程は、前記ナノチューブ個々の周囲を前記有機半導体の材料で被覆する工程を少なくとも含むことを特徴とする請求項11から13のいずれかに記載の薄膜トランジスタの製造方法。

【請求項15】

前記第1の工程は、少なくとも前記複合系半導体層を所定の方向にほぼ配向させるための配向処理の工程を有していることを特徴とする請求項11から14のいずれかに記載の薄膜トランジスタの製造方法。

【請求項16】

前記第1の工程が、前記有機半導体材料の溶液中に前記ナノチューブを浸漬して濾過し、そしてこの工程を繰り返して複合系半導体材料を用意する工程を含むことを特徴とする請求項11、12、14、15のいずれかに記載の薄膜トランジスタの製造方法。

【請求項17】

前記第1の工程が、前記有機半導体材料の溶液中に前記ナノチューブを分散して噴霧し乾燥して複合系半導体材料を用意する工程を含むことを特徴とする請求項11、12、14、15のいずれかに記載の薄膜トランジスタの製造方法。

【請求項18】

前記第1の工程が、前記有機半導体材料の溶液中に前記ナノチューブを分散した複合系半導体材料を用意する工程を含み、前記第2の工程が前記複合系半導体材料を噴霧し乾燥する工程を含むことを特徴とする請求項13から15のいずれかに記載の薄膜トランジスタの製造方法。

【請求項19】

前記第1の工程が、前記有機半導体の高濃度ペースト中に多量のナノチューブを投入し練合して複合系半導体材料を用意する工程を有し、前記第2の工程が、前記複合系半導体材料を塗布し乾燥する工程を有することを特徴とする請求項11、12、14、15のいずれかに記載の薄膜トランジスタの製造方法。

【請求項20】

前記ナノチューブは、カーボンナノチューブであることを特徴とする請求項11から19のいずれかに記載の薄膜トランジスタの製造方法。

【請求項21】

前記有機半導体の材料は、高分子系有機半導体材料であることを特徴とする請求項11から20のいずれかに記載の薄膜トランジスタの製造方法。

【請求項22】

前記有機半導体の材料は、低分子系有機半導体材料であることを特徴とする請求項11から20のいずれかに記載の薄膜トランジスタの製造方法。

【請求項23】

請求項1から10のいずれかに記載の薄膜トランジスタを、少なくとも、画素のスイッチング素子として複数個配置し設けるように構成したアクティブマトリックス型のディスプレイ。

【請求項24】

請求項1から10のいずれかに記載の薄膜トランジスタを、情報を記録するIC部と無線通信用のアンテナ部を有する超小型装置である無線ICタグ(RFIDタグ)の、前記IC部に設けるように構成したRFIDタグ。

【請求項25】

請求項1から10のいずれかに記載の薄膜トランジスタを使用した半導体回路装置を有する電子機器。

【書類名】明細書

【発明の名称】薄膜トランジスタおよびその製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、薄膜電界効果トランジスタ（TFT）に関して、特に、有機半導体とナノチューブを複合して形成した複合系半導体層を使用したTFTに関するものである。

【背景技術】

【0002】

現在、フラットパネルディスプレイ分野で使用されている薄膜電界効果トランジスタあるいは薄膜トランジスタは、一方の面に、分離したソースとドレイン電極を、他方の面にチャネルに対してほぼ中央の位置に占めるゲート電極によってチャネルが定義される半導体層を伴って構成されている。通常、TFTデバイスの構造は、基板上の層を精密に制御加工構成する薄膜制御プロセスにより作製される。これらのTFTには、優れた電気特性や高い安定信頼性が求められる。現在実用化されているTFTデバイスは、アモルファスシリコン（a-Si:H）や低温ポリシリコンを半導体とし、酸化シリコンや窒化シリコンをゲート絶縁層として使用する。アモルファスシリコン（a-Si:H）や低温ポリシリコンのデバイスをベースにしたアクティブマトリックス型液晶ディスプレイ（AMLCD）を作製する数々の材料と処理方式は、高温での製造プロセスが多く必要とされるため、他の場合であれば有用な多くの基板物質が使用できなくなる。

【0003】

フラットパネルディスプレイの技術発展の中、基板の軽量化、機械的柔軟性、耐衝撃性あるいは省資源に対する要求も出てきていて、シートライクな、あるいはペーパーライクなディスプレイや携帯機器などの実現が要求されている。しかし、これらに有用なAMLCD用のプラスチック板や樹脂フィルムを、150℃乃至250℃を越える温度での製造工程において使用することは困難である。

【0004】

近年、上記アモルファスシリコンや低温ポリシリコンなどの半導体に代わって、半導体の性質を示す有機材料ベースからなる有機半導体を利用する有機半導体TFTも研究されている。有機材料を用いることで、シリコンを用いたプロセスで必要とされる高コストのかかる設備を準備することなく、これらのデバイスを製造することが可能となる。機械的フレキシビリティが向上し、室温かそれに近い低温でのプロセスでデバイスを作製することが可能となり、しなやかなプラスチック基板や樹脂フィルムなどを利用して、シートライクな、あるいはペーパーライクなディスプレイなどに適する基板として使用することができる。

【0005】

従来、有機半導体薄膜トランジスタとして、ペンタセンなどの低分子系有機半導体を用いた薄膜トランジスタでは、単結晶または多結晶の結晶相からなる有機半導体層を用いているが、シリコン系半導体層に比べてキャリア移動度が小さく、約 $0.1 \sim 0.6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ の値しか得られない。しかし、結晶粒界が増えたり結晶性が低下すると移動度はさらに小さくなり、薄膜トランジスタとして使用できなくなる。また、有機半導体としてチオフェン系などの高分子系有機半導体を用いるものが考えられるが、非晶質であるのでキャリア移動度は小さい（非特許文献1参照）。非特許文献1によれば、フルオレンーピチオフェン共重合体を使用した薄膜トランジスタで、チャネルのキャリア移動度は $0.003 \sim 0.005 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ のような低い値である。非特許文献1の従来技術により、低いキャリア移動度の半導体層を有する薄膜トランジスタでは、通常、約数百 μm もの極端に形状が大きいゲート幅が必要となり、実用的ではない。キャリア移動度が小さい高分子系有機半導体を使用する場合、ソース、ドレイン電極間の距離を極めて短くする必要がある、極端な微細加工が必要となり、現実的ではない。また、半導体層がチオフェン系などの高分子系有機半導体のみからなる薄膜トランジスタでは、オフ抵抗は高く、高分子系有機半導体と絶縁層との剥離強度は強いが、チャネルのキャリア移動度は小さく、オン伝

導性は低い。

【0006】

これに対して、最近研究されている、カーボンから作製された、導電性が非常に良好で強靱な性質を有する、ナノ構造からなるカーボンナノチューブ (CNT) を半導体層に用いたナノチューブ (NT) 型の薄膜トランジスタでは、キャリア移動度は大きく、約 $1000 \sim 1500 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度の値が得られている (非特許文献2参照)。また、非特許文献2に示されるような高い値のキャリア移動度を有すると考えられる半導体系カーボンナノチューブを、半導体層として用いた薄膜トランジスタの構成と製造方法が報告されている (非特許文献3参照)。

【0007】

図8は、従来例のカーボンナノチューブを使用した薄膜トランジスタの構成を示す概念図である。非特許文献3によれば、図8に示すように、薄膜トランジスタ60は、ゲート電極を兼ねる p^+ シリコン基板61上の熱酸化シリコンからなる厚さ150 nmのゲート絶縁層62上に、直径1.4 nmの半導体系カーボンナノチューブを適度の分散密度で分散して配置し、厚さ1.4 nmの半導体層63を形成している。そして、半導体層63の上に、チタン (Ti) あるいはコバルト (Co) 金属を蒸着し、カーボンナノチューブとのコンタクト部66、67の両側に、チタンカーバイドあるいはコバルトからなるソース電極64、ドレイン電極65を形成し、接合抵抗が小さくトランスコンダクタンスが良好な特性を有するナノチューブ型のトランジスタとしている。

【0008】

しかし、半導体層がナノチューブのみからなる薄膜トランジスタでは、チャネルのキャリア移動度は大きく、オン伝導性は高いが、半導体層としてのナノチューブ自体は、ゲート絶縁層62上に載せているだけなのでその剥離強度は弱く、製造しがたいものとなる。

【0009】

非特許文献3の従来の技術において、直径1.4 nmのカーボンナノチューブなどのナノチューブを適度の分散密度で分散配置し、1.4 nmの厚さの半導体層を形成するナノチューブ型の薄膜トランジスタは、ナノチューブの分散密度を高くし、これを一定に製作することは実際には困難である。さらに、ナノ構造の多数本のナノチューブを重ねずに並列配列させるプロセスは不安定な要素となり、薄膜トランジスタの電気特性のバラツキが大きくなるという問題がある。

【0010】

極端な微細構造を必要とせずに製造しやすく、特性が高く特性バラツキが少ない信頼性の高い半導体層からなる薄膜トランジスタの実現と、これを利用したペーパライクディスプレイなどが望まれている。

【非特許文献1】 Takeo Kawase、他2名、IDW '02, AMD2/E P1-1, pp. 219-222, "Polymer Semiconductor Active-Matrix Backplane Fabricated by Ink-Jet Technique"

【非特許文献2】 Sami Rosenblatt、他5名、Nano Lett. 2, pp. 869-872 (2002), "High Performance Electrolyte Gated Carbon Nanotube Transistors"

【非特許文献3】 Phaedon Avouris、Chem. Phys. 281, pp. 429-445 (2002), Fig. 6, "Carbon nanotube electronics"

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

上述のように、非特許文献1では、キャリア移動度が小さい有機半導体を使用する場合、ソース、ドレイン電極間の距離を短くする必要があり、極端な微細加工が必要となると

いう問題があった。

【0012】

また、非特許文献3では、ナノチューブを適度の分散密度で分散配置し、キャリア移動度が高い値を有する半導体層を設けるようなナノチューブ型の薄膜トランジスタの製造において、ナノチューブの分散密度を一定に分散させたり、さらに形状が極小のTFET構造において、ナノ構造の多数本のナノチューブを重ねずに並列配列にて固定させることは、製造プロセス的に困難であり、特性バラツキが大きく信頼性が低い薄膜トランジスタ(TFET)となるという問題があった。

【0013】

本発明は、このような問題に鑑みなされたもので、有機半導体系とナノチューブ系の薄膜トランジスタの性質を補うため、半導体層を、上記双方の材料を混合して複合化して形成した複合系半導体層とすることにより、極小の微細構造を必要とせずに製造がしやすく、特性が高くバラツキが少ない信頼性の高い薄膜トランジスタ(TFET)とその製造方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明は、前記課題を解決するために、以下の手段を採用した。

【0015】

すなわち、本発明の薄膜トランジスタ(TFET)は、基板上に形成された薄膜トランジスタの半導体層が、少なくとも有機半導体とナノチューブ(NT)を複合して形成した複合系半導体層を含むように構成することを要旨とする。

【0016】

これにより、本発明の薄膜トランジスタは、オン状態、オフ状態とも、有機半導体のみとナノチューブのみの場合における特性の中間値になるので、オン、オフ状態での片方の特性が不十分な場合の改善が可能となる。有機半導体のみの場合よりも特性が向上し、ナノチューブのみの場合と比較して長く広いチャネル領域も使えるので、オン、オフ時の導電率に合わせてチャネル形状の設計の自由度が高くなる。また、さらに、ナノチューブで複合化した半導体層としたことにより、有機半導体のみの場合より、薄膜トランジスタは機械的強度が向上し、化学的にも耐熱的にも信頼性が向上する。

【0017】

また、本発明の薄膜トランジスタにおける複合系半導体層は、少なくとも有機半導体の材料とナノチューブの材料とを混合してなる複合系半導体材料から形成されていることを特徴とするものである。これにより、有機半導体材料とナノチューブ材料との混合比率を調整した複合系半導体材料を使って所望の複合系半導体層を形成することができ、特性を改善し、製造しやすい薄膜トランジスタとすることができる。

【0018】

また、本発明の薄膜トランジスタにおける複合系半導体層は、ナノチューブ1本ずつの周囲を前記有機半導体の材料で被覆した複合系半導体材料から形成されていることを特徴とするものである。これにより、回路的にはナノチューブの接触部に存在する有機半導体を実質的にスイッチ部となるので、基板上に困難な微細パターンを形成しなくても微細構造を有し、かつ特性バラツキの少ない薄膜トランジスタとすることができる。

【0019】

また、本発明における複合系半導体層は、ナノチューブおよび有機半導体の少なくともいずれかが所定の方向にほぼ配向しているように形成されているのが好ましい。これにより、ナノチューブと有機半導体が所望の方向に配向するので、これらを含む複合系半導体層のチャネルのキャリア移動度はさらに向上する。

【0020】

また、本発明におけるナノチューブは、カーボンナノチューブ(CNT)であることを特徴とするものである。これにより、高キャリア移動度を有するカーボンナノチューブとの混合複合化により、有機半導体のみの場合の低いキャリア移動度を、所望の高いキャリ

ア移動度へ改善でき、薄膜トランジスタのチャネル形状の設計自由度を高めることができる。

【0021】

また、本発明の複合系半導体層の有機半導体の材料は、高分子系有機半導体材料であることを特徴とするものである。また、望ましくは、高分子系有機半導体材料は、チオフェン系材料であることを特徴とするものである。これにより、高分子系有機半導体材料は、ナノチューブの各周囲を容易になめらかに被覆することができ、さらに、チオフェン系材料などの高分子系有機半導体のみの場合よりキャリア移動度を高く改善することができる。また、柔軟な膜を形成できる高分子系有機半導体材料とナノチューブを複合化したことにより、さらに機械的な強度や信頼性を向上させ、製造し易い薄膜トランジスタとすることができる。

【0022】

また、本発明の複合系半導体層の有機半導体の材料は、低分子系有機半導体材料であることを特徴とするものである。また、望ましくは、アセン系材料であることを特徴とするものである。これにより、結晶系の膜を形成する低分子系有機半導体材料、望ましくは低分子系有機半導体の中でも高いキャリア移動度を有するアセン系材料は、ナノチューブの周囲にその結晶膜を被覆形成することになるので、被覆されたナノチューブを互いに構造的に安定して配列させやすくし、安定した中間値の特性を有する薄膜トランジスタとすることができる。

【0023】

また、本発明の薄膜トランジスタの基板は、プラスチック板および樹脂フィルムの少なくともいずれかであるように構成するものである。これにより、プラスチック板や樹脂フィルムを基板としたしなやかなペーパーディスプレイあるいはシートディスプレイなどの用途を開くことができる。

【0024】

また、本発明の薄膜トランジスタの製造方法は、基板上に形成された薄膜トランジスタの半導体層を形成する工程が、少なくとも有機半導体の材料とナノチューブの材料を複合して作製した複合系半導体材料をあらかじめ用意する第1の工程と、複合系半導体材料を使用して複合系半導体層を形成する第2の工程と、を含むことを特徴とするものである。さらに望ましくは、第1の工程は、有機半導体の材料とナノチューブの材料とを混合する工程を含むことを特徴とするものである。

【0025】

上記本発明の薄膜トランジスタの製造方法により、あらかじめ、有機半導体材料とナノチューブ材料とを複合して作製した、望ましくは混合比率を調整して作製した複合系半導体材料を用意し、次にその複合系半導体材料を使用して複合系半導体層を形成することにより、ナノ構造をしている多数本のナノチューブのみを分散して並列配列するという困難な工程が不要となる。このように、有機半導体中にナノチューブが複合配列された複合系半導体層を容易に形成できるようになるので、特性を改善した機械的にも信頼性的にも向上した薄膜トランジスタの作製がしやすくなり、安定して製造することができる。

【0026】

また、本発明の薄膜トランジスタの製造方法は、基板上に形成された薄膜トランジスタの半導体層を形成する工程が、有機半導体の材料の溶液中にナノチューブを浸漬した複合系半導体材料の溶液を用意する第1の工程と、複合系半導体材料の溶液を濃縮し析出する第2の工程と、を含むことを特徴とするものである。

【0027】

これにより、有機半導体材料溶液にナノチューブを浸漬したものからなる複合系半導体材料を用意し、その複合系半導体材料溶液を基板上の所望の位置に付着させ、これを濃縮析出させて複合系半導体層を形成することになるので、ナノ構造をしている多数本のナノチューブのみを分散して並列配列するという困難な工程が不要となる。また、有機半導体が周囲に付着した状態のナノチューブを析出配列した複合系半導体層を容易に形成できる

ようになるので、特性を改善した機械的にも信頼性的にも向上した薄膜トランジスタの作製がしやすくなり、安定して製造することができる。

【0028】

また、本発明の薄膜トランジスタの製造方法において、さらに望ましくは、本発明における複合系半導体材料を用意する第1の工程は、ナノチューブ1本ずつの周囲を有機半導体の材料で被覆する工程を含むことを特徴とするものである。これにより、ナノチューブ同士の直接の接触がなくなり、有機半導体をその周囲に被覆したナノ構造のナノチューブを配列させることにより、基板上に困難な微細パターンを形成しなくても微細構造を有する薄膜トランジスタを作製することができる。

【0029】

また、本発明の薄膜トランジスタの製造方法において、第1の工程は、少なくとも複合系半導体層を所定方向にほぼ配向させるための配向処理の工程を有していることを特徴とするものである。これにより、ナノチューブおよび有機半導体の少なくともいずれかを所定方向にほぼ配向させることができ、これらを含む複合系半導体層が配向するように形成することができる。

【0030】

また、本発明における複合系半導体材料を用意する別の手段である第1の工程が、有機半導体材料の溶液中にナノチューブを浸漬して濾過し、これを繰り返すことを特徴とするものである。これにより、第1の工程で、ナノチューブの周囲に有機半導体材料をさらに良好に被覆して充填でき、さらに第2の工程で、複合系半導体層を形成しやすくし、薄膜トランジスタの製造をし易くすることができる。

【0031】

また、本発明における複合系半導体材料を用意する別の手段である第1の工程が、有機半導体材料の溶液中にナノチューブを分散して噴霧し乾燥して複合系半導体材料を用意する工程を含むことを特徴とするものである。これにより、第1の工程で、周囲が有機半導体材料で被覆されたナノチューブからなる複合系半導体材料の粉体を用意でき、第2の工程でその粉体を使用することで、さらに複合系半導体層を形成しやすくし、さらに薄膜トランジスタの製造をし易くすることができる。

【0032】

また、本発明における複合系半導体材料を用意する別の手段である第1の工程が、有機半導体材料の溶液中にナノチューブを分散した複合系半導体材料の溶液を用意する工程を含み、第2の工程が複合系半導体材料の溶液を噴霧し乾燥する工程を含むことを特徴とするものである。これにより、第1の工程で、有機半導体材料で周囲を被覆するようにナノチューブを分散した複合系半導体材料の溶液を用意でき、第2の工程で、基板上の所定の位置に複合系半導体材料を噴霧し乾燥させることで、さらに複合系半導体層を形成しやすくし、さらに薄膜トランジスタの製造をし易くすることができる。

【0033】

またさらに、本発明における複合系半導体材料を用意する別の手段である第1の工程が、有機半導体の高濃度ペースト中に多量のナノチューブを投入し練合して複合系半導体材料を用意する工程を有し、第2の工程が、複合系半導体材料を塗布し乾燥する工程を有することを特徴とするものである。これにより、第1の工程で、ナノチューブの周囲に有機半導体材料を被覆でき、第2の工程で、有機半導体で周囲が被覆されたナノチューブからなる複合系半導体材料ペーストを塗布し乾燥させることで、複合系半導体層を容易に形成することができ、さらに薄膜トランジスタの製造をし易くすることができる。

【0034】

また、本発明の製造方法におけるナノチューブは、カーボンナノチューブであることを特徴とする。これにより、カーボンナノチューブは高キャリア移動度を有するので、所望のキャリア移動度を有するように適正な混合比率で複合化した複合系半導体層を形成することができる。

【0035】

また、本発明の製造方法における有機半導体の材料は、高分子系有機半導体材料であることを特徴とするものである。これにより、各ナノチューブの周囲を柔軟な高分子系有機半導体膜でなめらかに容易に被覆することができるので、高分子系有機半導体のみの場合より移動度を安定して改善でき、かつ、ナノチューブのみの場合よりもさらに機械的にも信頼性的にも向上させることができる。

【0036】

また、本発明の製造方法における有機半導体の材料は、低分子系有機半導体材料であることを特徴とするものである。これにより、低分子系有機半導体の結晶膜をナノチューブの周囲に被覆形成することになるので、被覆されたナノチューブを互いに構造的に安定して配列させることができる。

【0037】

本発明の薄膜トランジスタを使用したディスプレイは、少なくとも、画素のスイッチング素子として複数個配置し設けるように構成したアクティブマトリックス型のディスプレイとするものである。これにより、プラスチック基板や樹脂フィルム基板上などに、マトリックス型に形成した複数本の電極の各交差点にスイッチング素子として、複合系半導体層を有する薄膜トランジスタを配置、あるいは、ディスプレイの周辺の駆動回路や制御回路に、複合系半導体層を有する薄膜トランジスタを使用することにより、ディスプレイと回路を一体で製作することになるので、有機半導体あるいはナノチューブのみの場合より特性が向上し、あるいは機械的にも信頼性的にも向上したしなやかなりライタブル可能なペーパーライク電子ディスプレイやシートディスプレイとすることができる。

【0038】

本発明の薄膜トランジスタを使用したRFIDタグは、情報を記録するIC部と無線通信用のアンテナ部を有する超小型装置である無線ICタグ(RFIDタグ)の、IC部や記憶部に薄膜トランジスタを設けるように構成するものである。これにより、複合系半導体層を有する薄膜トランジスタにおいて、シリコンチップで構成された従来のRFIDタグより、しなやかで壊れにくく、また、有機半導体の薄膜トランジスタで構成したRFIDタグより、特性が向上し強度的にも信頼性的にも向上したRFIDタグを構成することができる。

【0039】

また、本発明の薄膜トランジスタを使用した電子機器は、薄膜トランジスタを設けた半導体回路装置を有する電子機器とするものである。

【0040】

なお、以上に述べた各構成は、本発明の趣旨を逸脱しない限り、互いに組み合わせることが可能である。

【発明の効果】

【0041】

以上のように、本発明の薄膜トランジスタにより、有機半導体系とナノチューブ系の薄膜トランジスタの性質を補うため、半導体層を、上記双方の材料を複合化し形成した複合系半導体層とすることにより、チャネルのキャリア移動度が大きく改善されるので、チャネル形状として、極小な微細構造を必要とせず、製造がし易く、特性が高くバラツキの少ない薄膜トランジスタとすることができる。

【0042】

また、オン状態、オフ状態とも、有機半導体系とナノチューブ系の薄膜トランジスタの場合における特性の中間値になるので、オン、オフの片方の特性が不十分な場合の改善が可能となる。

【0043】

また、ナノチューブ系の薄膜トランジスタの場合と比較して長く広いチャネル領域も使えるので、オン、オフ時の導電率に合わせてチャネル形状の設計の自由度を高くできる。

【0044】

また、ナノチューブ系の薄膜トランジスタの場合より、剥離強度などの機械的強度がさ

らに向上し、また、有機半導体の薄膜トランジスタの場合より、化学的にも耐熱的にもその信頼性は向上し、製造し易く利用に供し易い薄膜トランジスタとすることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0045】

以下、本発明の実施の形態について、図面を用いて説明する。なお、以下で説明する図面において、同一要素については同じ番号を付している。

【0046】

(実施の形態1)

図2は、本発明の実施の形態1の薄膜トランジスタ(TFT)の構成を示す概念図である。図2のように、薄膜トランジスタ1において、ゲート絶縁層3と、ゲート絶縁層3と接触させた半導体層4を設け、ゲート絶縁層3の少なくとも一方の側に接触させた半導体層4とは反対側にゲート電極5を設ける。次に、半導体層4の側に接触させて、ゲート電極5を挟むように位置合わせしたソース電極6、ドレイン電極7とを設けるように構成する。

【0047】

上記図2は、例えばポリカーボネートなどの曲げることが可能なプラスチック板製の基板2上に、ゲート電極5を形成したボトムゲート型の薄膜トランジスタとし、ソース電極6、ドレイン電極7を半導体層4のトップに形成した構成としている。ゲート電極5が、無機酸化物などからなるゲート絶縁層3によって、半導体層4に電気的に生成されるチャネル8から分離される形で形成され、チャネル8に対して中央に位置付けられるように構成されている。

【0048】

本実施の形態1では、図2において、半導体層4として、ゲート絶縁層3の上に、高分子系有機半導体とカーボンナノチューブとの複合からなる複合系半導体層9を形成し構成する。詳しくは、本実施の形態1での複合系半導体層9は、フルオレンーピチオフェン共重合体などの高分子系有機半導体と、通常、カーボンナノチューブ作成時に得られる半導体系と金属系が混在した混合系のカーボンナノチューブとを複合して形成する。そして、複合系半導体層9の上に、金などでソース電極6、ドレイン電極7をパターンニングして形成し、薄膜トランジスタ1としている。

【0049】

また、本発明の実施の形態1における薄膜トランジスタの製造方法は、複合系半導体層9を形成する工程が、フルオレンーピチオフェン共重合体などの高分子系有機半導体材料と、上記混合系のカーボンナノチューブなどのナノチューブ材料とを混合して複合し作成した複合系半導体材料をあらかじめ用意し、その複合系半導体材料を使用して、ゲート絶縁層3の上に複合系半導体層9を形成する工程を少なくとも含んでいる。望ましくは、有機半導体材料とナノチューブ材料とを混合比率を調整して混合し複合した構成からなる複合系半導体材料を使用する。ナノチューブの混合比率は、全体に対して体積比で約30～90%が良い。望ましくは、約50～70%がさらに良好である。また、この工程の途中で、上記工程が円滑に進むように、他の工程や材料を加えることも可能である。

【0050】

このように、有機半導体材料とナノチューブ材料との混合比率を調整した複合系半導体材料を使って、所望のキャリア移動度を有する複合系半導体層を形成する工程により、より特性を改善し、製造しやすい薄膜トランジスタの製造方法とすることができる。

【0051】

また、上記基板2としては、フレキシブルで曲げることが可能なプラスチック板や薄いガラス基板の他に、薄い厚さのポリイミドフィルムなどのしなやかな性質を有する樹脂フィルムなども使用できる。これにより、プラスチック板や樹脂フィルムを基板としたしなやかなペーパーディスプレイあるいはシートディスプレイなどの用途を開くことができる。

【0052】

また、上記ゲート電極5、ソース電極6、ドレイン電極7に使用できる物質は、電気導電性を持ち、基板や半導体と反応しないものならば使用可能である。ドーブしたシリコンや金、銀、白金、プラチナ、パラジウムなどの貴金属や、リチウム、セシウム、カルシウム、マグネシウムなどのアルカリ金属やアルカリ土類金属の他に、銅、ニッケル、アルミニウム、チタン、モリブデンなどの金属、また、それらの合金も使用できる。その他、ポリピロール、ポリチオフェン、ポリアニリン、ポリフェニレンビニレンなどの導電性を持つ有機物も使用できる。特に、ゲート電極5は他の電極よりも電気抵抗が大きくても動作可能であるので、製造を容易にするためにソース、ドレイン電極とは異なる材料を使用することも可能である。これらの電極は、室温あるいは室温に近い温度で被着形成する室温プロセスが可能である。

【0053】

また、上記ゲート絶縁層3は、電気絶縁性を持ち、基板や電極、半導体と反応しないものならば、使用可能である。基板として先に例示した柔軟なもの以外に、シリコン上に通常のシリコン酸化膜をゲート絶縁層3として用いるのも可能であるし、さらに、酸化膜形成後に樹脂などの薄層を設けてもゲート絶縁層3として機能する。また、ゲート絶縁層3として、基板や電極と異なる元素で構成される化合物をCVDや蒸着、スパッタなどで堆積したり、溶液で塗布、吹き付け、電解付着してもよい。また、有機薄膜トランジスタのゲート電圧を下げるために、誘電率の高い物質をゲート絶縁層として用いることも知られており、強誘電性化合物や強誘電体ではないが誘電率の大きな化合物を用いてもよい。さらに、無機物に限らず、ポリフッ化ビニリデン系やポリシアン化ビニリデン系などの誘電率の大きな有機物でもよい。

【0054】

図1は、図2における本発明の実施の形態1である薄膜トランジスタの複合系半導体層の有機半導体とナノチューブとの関係を示す概念図である。図2で述べた工程により、ナノチューブ材料と高分子系有機半導体材料とを混合し複合した複合系半導体材料を使用し、図1の如く、形状がナノ構造で長さ約0.1~数 μm 、直径約1~数nmからなる、半導体系と金属系が混在した材料である混合系のカーボンナノチューブ10の1本ずつの周囲が、柔軟なフルオレンーピチオフェン共重合体などの高分子系有機半導体材料で少なくとも被覆される。すなわち、図1において、複合系半導体層9は、ナノ構造からなる混合系のカーボンナノチューブ10が有機半導体11の中に混合分散されて高分子系有機半導体材料を充填した複合構成となっている。混合系のカーボンナノチューブ10の個々の周囲は、柔軟な高分子系有機半導体材料からなる有機半導体11で被覆される。また、高分子系有機半導体材料は、多数のカーボンナノチューブ10の間に良好に充填された状態となる。高分子系有機半導体と混合系のカーボンナノチューブとを複合して形成した複合系半導体層による薄膜トランジスタのチャネルの移動度は、 $110\text{ cm}^2/\text{Vs}$ と、有機半導体TFTより、大幅に改善された。

【0055】

また、カーボンナノチューブ10と高分子系有機半導体材料の有機半導体11からなる複合系半導体層9を形成する時に、図2において、あらかじめゲート絶縁層3の表面を配向処理し、図1の高分子系有機半導体材料からなる有機半導体11を良好に配向するようにしてもよい。配向処理の方法は液晶技術におけるラビング法など、当該業者には周知の方法を利用できる。これらにより、ナノチューブを、高分子系有機半導体が配向するとともに、その内部で良好に方向をそろえて配列させることができ、さらに特性を改善することができる。

【0056】

このように、上記により本発明の薄膜トランジスタの複合系半導体層9は、高分子系有機半導体と混合系カーボンナノチューブが複合された構成のものとなり、前述したそれぞれの従来の欠点を補い、長所をより強化したものとすることができる。

【0057】

本実施の形態1により、高分子系有機半導体と混合系のカーボンナノチューブとを複合

した複合系半導体層を形成した薄膜トランジスタのチャネルのキャリア移動度は、高分子系有機半導体の低いキャリア移動度よりもより高くすることができる。

【0058】

図1に示すように、薄膜トランジスタのオン時において、複合系半導体層9における電流は、混合系のカーボンナノチューブ10の中を流れ、近接した短距離間に配置されたナノチューブ間においては、ナノチューブの周囲を取り巻く高分子系有機半導体11の中を電流が流れる。従って、キャリア移動度やオン特性が、高分子系有機半導体のみの時より大幅に改善した薄膜トランジスタとすることができる。薄膜トランジスタのオフ時においては、カーボンナノチューブ10の個々はその周囲に有機半導体11を被覆して直接接触することがないので、半導体層がナノチューブのみからなる薄膜トランジスタのオフ特性よりも良好となる。これによって、回路的にはカーボンナノチューブ10の個々の接触部に存在する有機半導体を実質的にスイッチ部となるので、基板上に困難な極端な微細パターンを形成しなくても微細構造を有しているので製造し易く、かつ特性バラツキの少ない薄膜トランジスタとすることができる。

【0059】

また、本発明の薄膜トランジスタの半導体層が、少なくとも有機半導体とナノチューブを複合して形成した複合系半導体層であるとしたことにより、オン状態、オフ状態とも、有機半導体のみとナノチューブのみの場合における特性の中間値になるので、オン、オフ状態での片方の特性が不十分な場合の改善が可能となる。例えば、キャリア移動度が低い有機半導体の薄膜トランジスタの場合、そのゲート幅は約数百 μm の形状が必要となり、また、キャリア移動度が極めて高いナノチューブの薄膜トランジスタでは、約0.1 μm の極微のゲート幅となり、どちらも実用的ではない。これに対して、有機半導体とナノチューブを複合して形成した複合系半導体におけるキャリア移動度は、両者の中間値となり、数 μm 程度の実用的なゲート幅で設計製作でき、長く広いチャネル領域も使えるので、オン、オフ時の導電率に合わせてチャネル形状の設計の自由度が高くなる。

【0060】

さらに、柔軟な膜を形成できる高分子系有機半導体材料とナノチューブとを複合化した半導体層としたことにより、高分子系有機半導体材料のみの場合やナノチューブ材料のみの場合より、薄膜トランジスタは剥離強度などの機械的強度がさらに向上し、高分子系有機半導体材料のみの場合より、化学的にも耐熱的にもその信頼性は向上し、製造し易く利用に供し易い薄膜トランジスタとすることができる。

【0061】

また、本実施の形態1の薄膜トランジスタの製造方法は、半導体層4を形成する工程として、第1の工程が、半導体層の材料として、あらかじめ少なくとも有機半導体の材料とナノチューブ(NT)の材料を複合して作製した、望ましくは混合比率を調整して作製した複合系半導体材料を用意する工程を含み、次に、第2の工程として、その複合系半導体材料を使用して複合系半導体層を形成する工程を少なくとも含んでいる。これにより、ナノ構造をしている多数本のナノチューブのみを分散して並列配列するという困難な工程が不要となる。また、有機半導体中にナノチューブが複合配列された複合系半導体層を容易に形成できるようになるので、特性を改善した機械的にも信頼性的にも向上した薄膜トランジスタの作製がし易くなり、安定して製造することができる。

【0062】

また、さらに具体的には、本実施の形態1の薄膜トランジスタの製造方法において、第1の工程が、有機半導体材料の溶液中にナノチューブを浸漬して濾過し、これを繰り返すことにより、複合系半導体材料を用意する工程としてもよい。これにより、第1の工程において、例えば、高分子系有機半導体共重合体からなる有機半導体材料の溶液にナノチューブを浸漬しフィルターでの濾過を繰り返すことにより、余分な溶液をおおよそ取り除き、ナノチューブの周囲に有機半導体材料をさらに良好に被覆させて充填した複合系半導体材料を用意し、第2の工程において、第1の工程で作成された複合系半導体材料を使って、複合系半導体層を形成することにより、薄膜トランジスタの作製をし易くすることがで

きる。

【0063】

また、本実施の形態1の薄膜トランジスタの製造方法において、上記第1の工程とは別の工程として、有機半導体材料の溶液中にナノチューブを分散して噴霧し乾燥して複合系半導体材料を用意する工程を含むようにしてもよい。これにより、第1の工程で、例えば、高分子系有機半導体共重合体からなる有機半導体材料の溶液中にナノチューブを分散して噴霧し乾燥することにより、周囲が有機半導体材料で被覆されたナノチューブからなる複合系半導体材料の粉体を用意でき、第2の工程で、その粉体を使用して複合系半導体層を形成することで、薄膜トランジスタの作製をし易くすることができる。

【0064】

また、本実施の形態1の薄膜トランジスタの製造方法において、上記第1の工程とは別の工程として、有機半導体の高濃度溶液中に多量のナノチューブを投入し練合して複合系半導体ペーストを用意する工程を含み、第2の工程が、その複合系半導体材料を塗布し乾燥して、複合系半導体層を形成する工程を含むようにしてもよい。これにより、第1の工程で、例えば、高分子系有機半導体共重合体からなる有機半導体の高濃度溶液中に多量のナノチューブを投入練合することにより、ナノチューブの周囲に有機半導体材料を被覆した複合系半導体ペーストを用意でき、第2の工程で、有機半導体で周囲が被覆されたナノチューブからなる複合系半導体ペーストを塗布あるいは印刷し乾燥することで、複合系半導体層を容易に形成することができ、薄膜トランジスタの作製をさらにし易くすることができる。

【0065】

(実施の形態2)

図3は、本発明の実施の形態2の薄膜トランジスタ(TFT)の構成を示す概念図である。図3において、図1と異なるのは、薄膜トランジスタ15は、ソース電極6、ドレーン電極7を、ゲート絶縁層3の上に、つまりは半導体層4のボトムに形成した構成とした点である。なお、電極、ゲート絶縁層材料は実施の形態1と同じでよい。

【0066】

さらに、本実施の形態2では、半導体層4として、ゲート絶縁層3の上に、高分子系有機半導体と半導体系のカーボンナノチューブ(CNT)との複合からなる複合系半導体層16を形成する。詳しくは、本実施の形態2での複合系半導体層16は、フルオレンービチオフェン共重合体などの高分子系有機半導体材料と、通常、半導体系と金属系が混在して得られるカーボンナノチューブから選別して得られた半導体系のカーボンナノチューブ材料とを複合して形成し構成したものである。

【0067】

また、さらに具体的には、本実施の形態2における薄膜トランジスタの製造方法は、複合系半導体層16を形成する工程が、上記高分子系有機半導体材料の溶液中に半導体系のカーボンナノチューブを浸漬して得られる複合系半導体材料の溶液を用意する第1の工程と、その複合系半導体材料の溶液をゲート絶縁層3の上に塗布し、あるいはインクジェット法などによる吹き付けをし、これを濃縮して高分子系有機半導体材料が被覆された半導体系のカーボンナノチューブを析出する第2の工程とを含んだ工程により、ゲート絶縁層3の上に複合系半導体層16を形成する。

【0068】

図4は、図3における本実施の形態2である薄膜トランジスタの複合系半導体層の有機半導体とナノチューブとの関係を示す概念図である。図3で述べた工程により、半導体系のカーボンナノチューブを高分子系有機半導体溶液に浸漬することにより、半導体系のカーボンナノチューブ17の1本ずつの周囲は、柔軟なフルオレンービチオフェン共重合体などの高分子系有機半導体材料で少なくとも被覆される。そして、カーボンナノチューブと高分子系有機半導体とを複合した上記複合系半導体材料の溶液を、ゲート絶縁層3あるいは基板上の所望の位置に塗布あるいは吹き付け付着させ、これを濃縮し析出することにより、複合系半導体層16を形成する。すなわち、図4において、複合系半導体層16は

、柔軟な高分子系有機半導体膜18を、長さ約0.1～数 μm 、直径約1～数nmのナノ構造からなる半導体系のカーボンナノチューブ17の1本ずつの周囲表面に形成しつつ作成される複合系半導体材料溶液を濃縮して析出しながら、これらが積み重なることにより形成される。このように、高分子系有機半導体材料は、カーボンナノチューブ17の各周囲を容易になめらかに被覆することができる。

【0069】

(実施の形態3)

図5は、本発明の実施の形態3である薄膜トランジスタの構成を示す概念図である。図5において、図2と異なるのは、ソース電極6、ドレイン電極7を基板2上に形成し、次に、半導体層4としての複合系半導体層13、ゲート絶縁層3、ゲート電極5を順次形成し、ゲート電極5をトップに形成したトップゲート型の薄膜トランジスタ20として構成した点である。なお、保護膜などは簡便のために図示していない。

【0070】

図6は、本発明の実施の形態3である薄膜トランジスタにおける複合系半導体層の有機半導体とナノチューブとの関係を示す概念図である。図4と異なるのは、少なくともカーボンナノチューブ17を配列あるいは配向させて、複合系半導体層13を基板(図示省略)上で配向、配列させて形成していることにある。複数本の半導体系のカーボンナノチューブ17と高分子系有機半導体膜18からなる複合系半導体層13を形成する時に、図5において、あらかじめ、少なくともチャンネル8を形成する部分の基板2の表面に形成したポリイミド膜や単分子膜などの配向膜を、ラビング法などで所定の方に配向処理した後、複合系半導体材料溶液をゲート絶縁層3の上に塗布あるいは吹き付け付着する。図6(a)の如く、高分子系有機半導体材料ポリマー溶液19中で、カーボンナノチューブ17の個々はナノ構造であるので、基板(図示省略)表面の配向処理(矢印)方向に対して、物理的におおよそ向きをそろえて配列する。この配向原理は液晶配向技術から明らかである。図6(b)において、カーボンナノチューブ17の周囲を高分子系有機半導体膜18で被覆しつつ、良好に配向させながら、これを濃縮し析出させ、複合系半導体層13を基板(図示省略)上で所定の方にほぼ配向あるいは配列させ形成することができる。配向方向は、ソース電極、ドレイン電極(図示省略)を結ぶ線に対して、電気特性が向上する方向を選択する。カーボンナノチューブでON特性を向上させる場合を例示すると、ソース電極とドレイン電極を結ぶ線とカーボンナノチューブが平行になるようにする。

【0071】

また、液晶性の高分子系有機半導体材料ポリマーの場合は、配向処理により、高分子系有機半導体分子が並ぶとともに、ナノチューブをもさらに良好に配列させることができる。液晶性高分子からなる有機半導体材料を使用した場合は、さらに配向性が向上する。ナノチューブをよりそろえて配列させることにより、より隙間がなく充填率が向上し、分散密度を向上させることができ、キャリア移動度をより向上させることができる。

【0072】

このように、上記により本発明の薄膜トランジスタの複合系半導体層は、高分子系有機半導体と半導体系カーボンナノチューブが複合された構成のものとなり、前述したそれぞれの従来の欠点を補い、長所をより強化したものとすることができる。

【0073】

ここで、実施の形態2で説明した図4での、約 $0.003 \sim 0.01 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ の低いキャリア移動度を有するチオフェン系高分子系有機半導体膜18と、約 $1000 \sim 1500 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ の高いキャリア移動度を有する半導体系カーボンナノチューブ17とからなる複合系半導体層16を形成した。図3、図4の複合系半導体層16を形成した薄膜トランジスタ15のチャンネル8のキャリア移動度は、 $170 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ の値を示し、高いキャリア移動度を有する、優れた特性の薄膜トランジスタとすることができた。これにより、有機半導体のみの場合の低いキャリア移動度を、高キャリア移動度を有する半導体系のカーボンナノチューブとの複合化により、さらにより高いキャリア移動度を有する半導体層を有する薄膜トランジスタとすることができる。

【0074】

図4において、薄膜トランジスタのオン時には、複合系半導体層16における電流は、半導体系のナノチューブの中を大部分が流れ、近接した短距離間に配列したナノチューブ間においては、ナノチューブの周囲に形成された高分子系有機半導体膜の中を電流が流れる。従って、キャリア移動度やオン特性が、高分子系有機半導体のみの時より大幅に改善した薄膜トランジスタとすることができる。また、図6においては、ナノチューブが良好に配列していることにより、さらに電子の流れは改善され、キャリア移動度は向上し、薄膜トランジスタの特性は向上する。

【0075】

また、薄膜トランジスタのオフ時には、ナノチューブの個々とその周囲に被覆形成された高分子系有機半導体膜とが複合した半導体層となっているので、半導体層がナノチューブのみからなる薄膜トランジスタのオフ特性よりも良好となる。

【0076】

また、本発明の薄膜トランジスタの半導体層が、少なくとも有機半導体と半導体系のナノチューブを複合して形成した複合系半導体層であることにより、オン状態、オフ状態とも、有機半導体のみとナノチューブのみの場合における特性の中間値になるので、オン、オフ状態での片方の特性が不十分な場合の改善が可能となる。有機半導体のみの場合より特性が向上し、ナノチューブのみの場合と比較して長く広いチャネル領域も使えるので、オン、オフ時の導電率に合わせてチャネル形状の設計の自由度が高くなる。

【0077】

さらに、機械的に柔軟な膜を形成できる高分子系有機半導体材料とナノチューブとを複合化した半導体層としたことにより、高分子系有機半導体材料のみの場合やナノチューブ材料のみの場合より、薄膜トランジスタは剥離強度などの機械的強度がさらに向上し、高分子系有機半導体材料のみの場合より、化学的にも耐熱的にもその信頼性は向上し、製造し易く利用に供し易い薄膜トランジスタとすることができる。

【0078】

また、実施の形態2の薄膜トランジスタの製造方法において、半導体層を形成する工程が、有機半導体の材料の溶液中にナノチューブを浸漬して複合系半導体材料の溶液を用意する第1の工程と、複合系半導体材料の溶液を基板上の所望の位置に付着させ、これを濃縮し析出させて複合系半導体層を形成する第2の工程とを少なくとも含む工程である。これにより、ナノ構造をしている多数本のナノチューブのみを分散して並列配列するという困難な工程が不要となる。さらに、有機半導体が周囲に付着した状態のナノチューブを析出配列した複合系半導体層を容易に形成できるようになるので、特性を改善した機械的にも信頼性的にも向上した薄膜トランジスタの製造がし易くなる。

【0079】

また、実施の形態2の薄膜トランジスタの製造方法において、上記工程とは別の工程として、第1の工程が、有機半導体材料の溶液中にナノチューブを分散した複合系半導体材料を用意する工程を含み、第2の工程がその複合系半導体材料を噴霧し乾燥させて、複合系半導体層を形成する工程を含むものであってもよい。

【0080】

これにより、第1の工程で、有機半導体材料で周囲を被覆するようにナノチューブを分散した複合系半導体材料の溶液を用意し、第2の工程で、基板上の所定の位置に複合系半導体材料の溶液を噴霧し、あるいはインクジェットの手段などで吹き付け塗布し、乾燥させることにより、複合系半導体層を形成し易く薄膜トランジスタを製造し易くすることができる。

【0081】

なお、上記で高分子系有機半導体材料として、チオフェン系共重合体を用いて説明したが、キャリア移動度が適度の値を有する高分子系有機半導体材料であれば同様に実施可能である。

【0082】

また上記で、複合系半導体層の有機半導体の材料として、高分子系有機半導体材料を用いて説明したが、低分子系有機半導体材料でもよく、望ましくは有機半導体の中でも高いキャリア移動度を有するアセン系材料であっても同様に実施可能である。これにより、安定した中間値の特性を有する薄膜トランジスタとすることができる。

【0083】

また、ナノチューブは、将来において、カーボン他の材料からなるナノチューブも使用できる可能性がある。

【0084】

また、高分子系有機半導体材料の溶液が、液晶相を有している高分子系有機半導体材料ポリマーの場合は、配向処理により、高分子系有機半導体分子が並ぶとともに、ナノチューブをもさらに良好に配列させることができる。また、高分子系有機半導体材料は、それ自身が液晶性高分子からなる有機半導体材料であってもよく、配向処理し硬化させて用いる。液晶性高分子からなる有機半導体材料を使用した場合は、さらに配向性が向上する。ナノチューブをより配向させることにより、より隙間がなく充填率が向上し、分散密度を向上させることができ、キャリア移動度をより向上させることができる。

【0085】

また、本発明の薄膜トランジスタは、ゲート絶縁層と、ゲート絶縁層と接触して設けた半導体層と、ゲート絶縁層の一方の側に接触して半導体層とは反対側に設けたゲート電極と、半導体層の少なくとも一方の側に接触してゲート電極に対して位置合わせしてゲート電極を挟むようにして設けたソース電極、ドレイン電極と、を含む薄膜トランジスタであって、半導体層が、少なくとも有機半導体とナノチューブを複合して形成した複合系半導体層であるように構成したものである。本発明における薄膜トランジスタは、ゲート電極を基板上に設けたボトムゲート型の薄膜トランジスタでも、ゲート電極をゲート絶縁層上に基板とは反対側に設けたトップゲート型の薄膜トランジスタとして構成しても、同様に実施可能である。

【0086】

図7は、本発明の薄膜トランジスタを含む半導体回路装置を利用した一例を示す概念図である。図7において、複合系半導体層を半導体層として有する薄膜トランジスタ（図示省略）を、少なくとも画素のスイッチング素子（図示省略）として複数個配置して設け、アクティブマトリックス型のディスプレイ21を構成する。これにより、プラスチック基板22などの上に、マトリックス型に配置した複数本の電極23、24の各交差点25に配置した上記薄膜トランジスタ（図示省略）からなるスイッチング素子（図示省略）で情報信号を良好な特性でON/OFFすることができ、信頼性の高い安定した表示の、リライタブル可能なペーパーライク電子ディスプレイやシートディスプレイとすることができる。また、上記薄膜トランジスタ（図示省略）を含む半導体回路装置として、ディスプレイの周辺の駆動回路26a、26bや制御回路27として使用することにより、ディスプレイパネル28と回路を一体で製作することになるので、ナノチューブのみの場合より、機械的にも信頼性的にも向上したしなやかなリライタブル可能なペーパーライク電子ディスプレイやシートディスプレイとすることができる。

【0087】

アクティブマトリックス型のディスプレイパネルとしてや、ペーパーライクあるいはシート状のディスプレイパネルとして、液晶表示方式、電気泳動表示方式、有機EL方式、エレクトロクロミック表示方式（ECD）、電解析出方式、電子粉流体方式や干渉型変調（MEMS）方式などによるディスプレイパネル方式を使うことができる。

【0088】

また、情報を記録するICと無線通信用のアンテナで構成する超小型装置、即ち使い捨ての無線周波数ICタグ（RFIDタグ）などのIC部の駆動回路や制御回路あるいは記憶回路に、上記薄膜トランジスタを一体で形成し適用することも可能である。これにより、シリコンチップで構成された従来のRFIDタグより、全体がしなやかで壊れにくいRFIDタグを構成することができる。

【0089】

また、上記薄膜トランジスタを含んだ半導体回路装置により、携帯機器や使い捨て機器あるいはその他の電子機器などに適用することもできる。

【図面の簡単な説明】

【0090】

【図1】図2における本発明の実施の形態1である薄膜トランジスタの複合系半導体層の有機半導体とナノチューブとの関係を示す概念図

【図2】本発明の実施の形態1の薄膜トランジスタ(TFT)の構成を示す概念図

【図3】本発明の実施の形態2の薄膜トランジスタの構成を示す概念図

【図4】図3における実施の形態2である薄膜トランジスタの複合系半導体層の有機半導体とナノチューブとの関係を示す概念図

【図5】本発明の実施の形態3である薄膜トランジスタの構成を示す概念図

【図6】本発明の実施の形態3である薄膜トランジスタにおける複合系半導体層の有機半導体とナノチューブとの関係を示す概念図

【図7】本発明の薄膜トランジスタを含む半導体回路装置を利用した一例を示す概念図

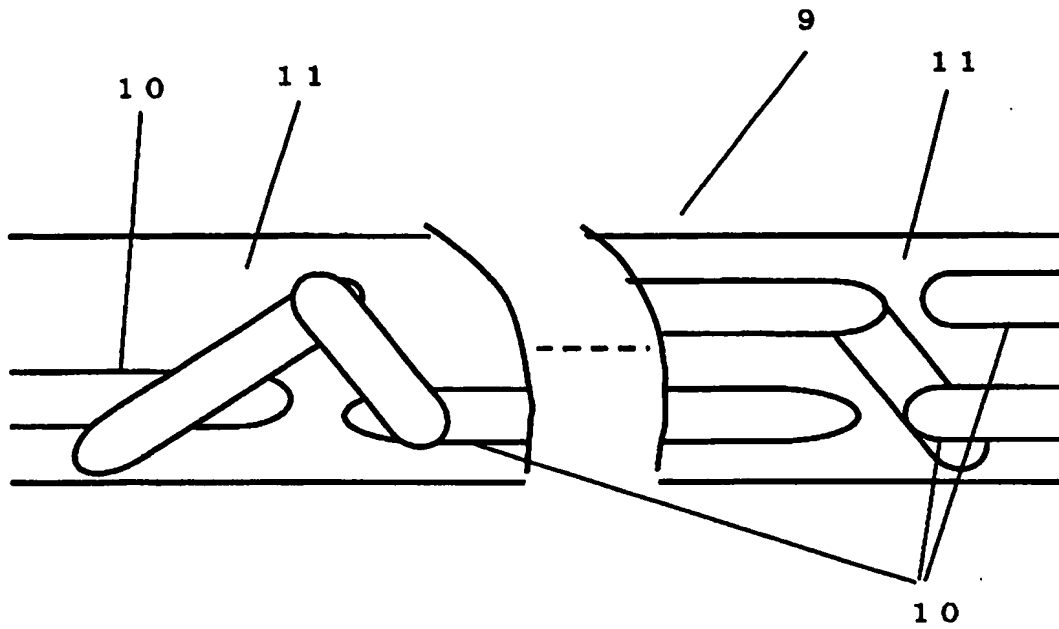
【図8】従来例のカーボンナノチューブを使用した薄膜トランジスタの構成を示す概念図

【符号の説明】

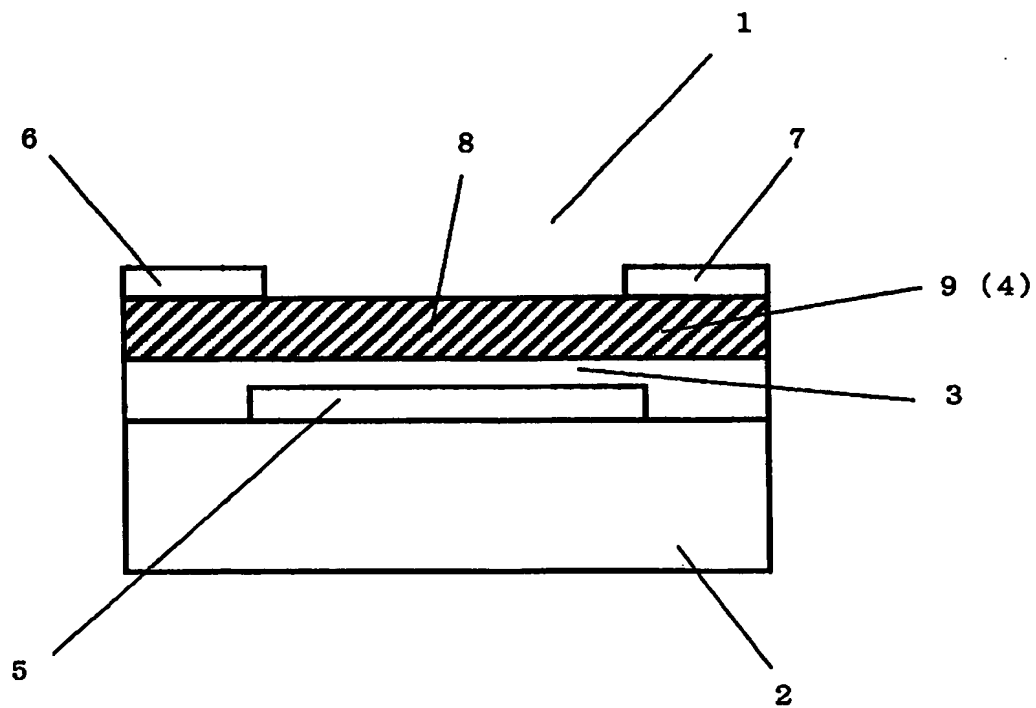
【0091】

- 1, 15, 20 薄膜トランジスタ
- 2 基板
- 3 ゲート絶縁層
- 4 半導体層
- 5 ゲート電極
- 6 ソース電極
- 7 ドレイン電極
- 8 チャンネル
- 9, 16, 13 複合系半導体層
- 10, 17 カーボンナノチューブ
- 11 有機半導体
- 18 高分子系有機半導体膜
- 19 高分子系有機半導体材料ポリマー溶液
- 21 ディスプレイ
- 22 プラスチック基板
- 23, 24 電極
- 25 交差点
- 26 a, 26 b 駆動回路
- 27 制御回路
- 28 ディ스플레이パネル
- 60 薄膜トランジスタ
- 61 p⁺シリコン基板
- 62 ゲート絶縁層
- 63 半導体層
- 64 ソース電極
- 65 ドレイン電極
- 66, 67 コンタクト部

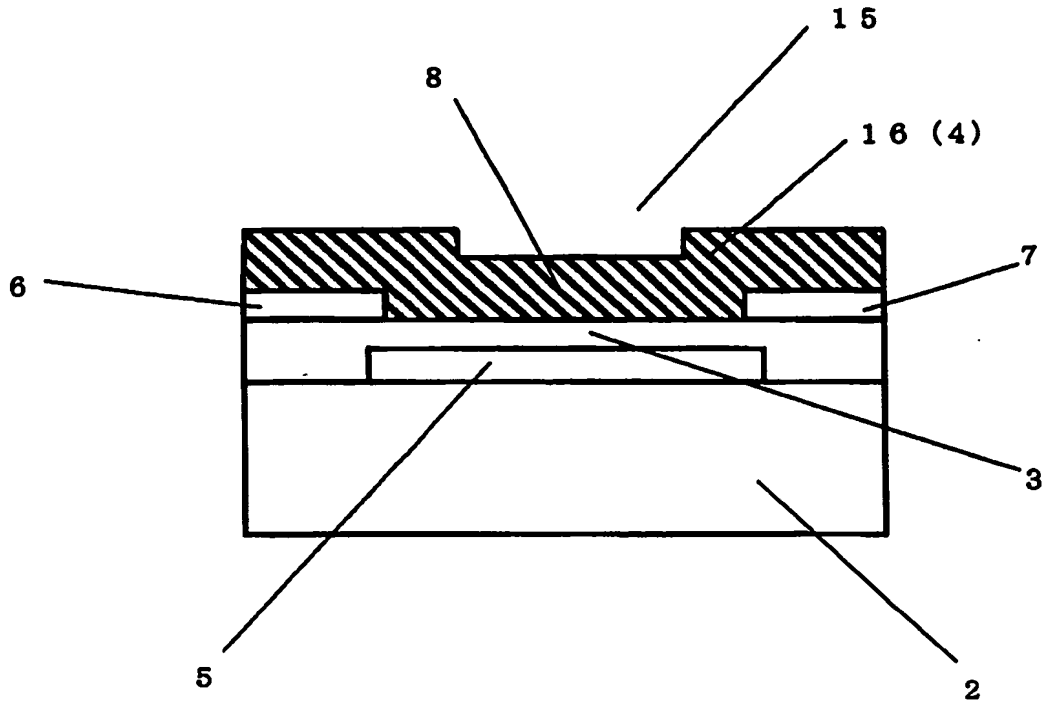
【書類名】 図面
【図 1】



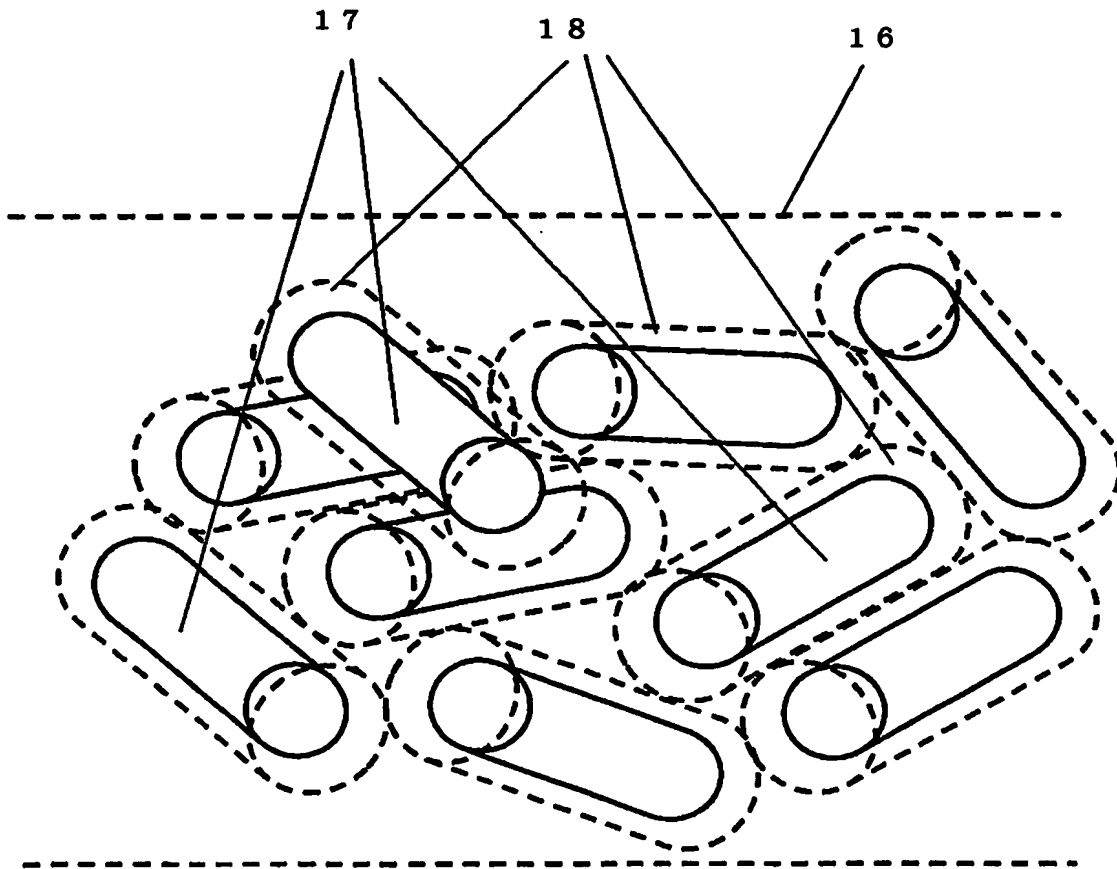
【図 2】



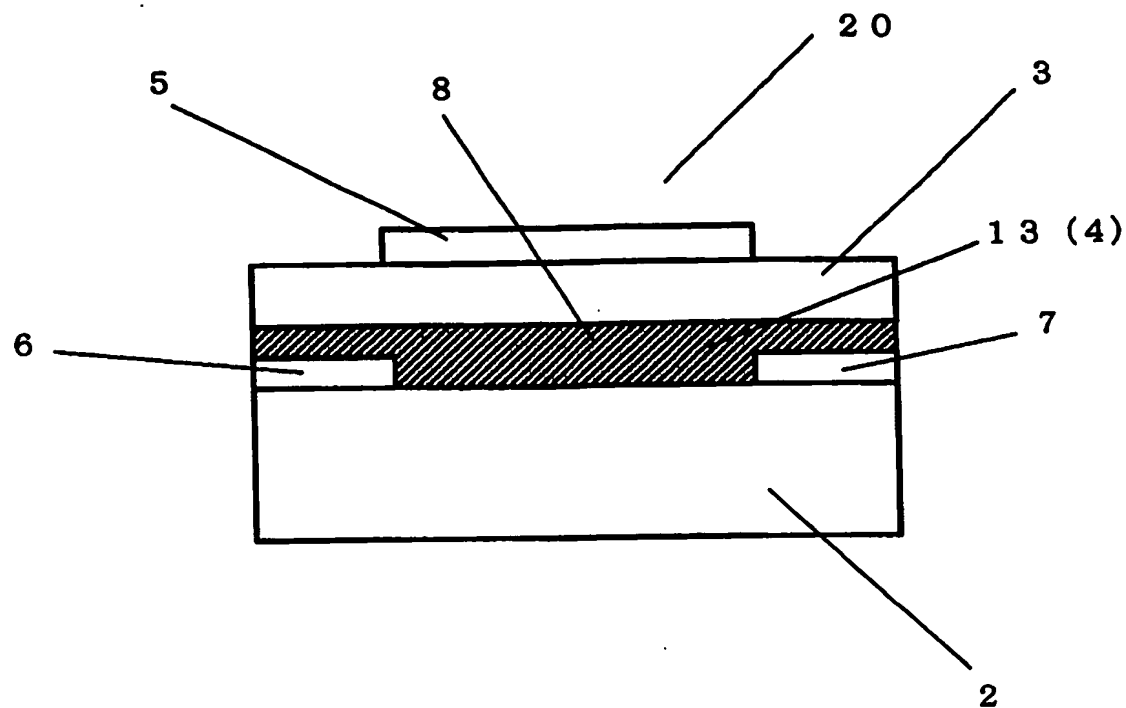
【図 3】



【図 4】

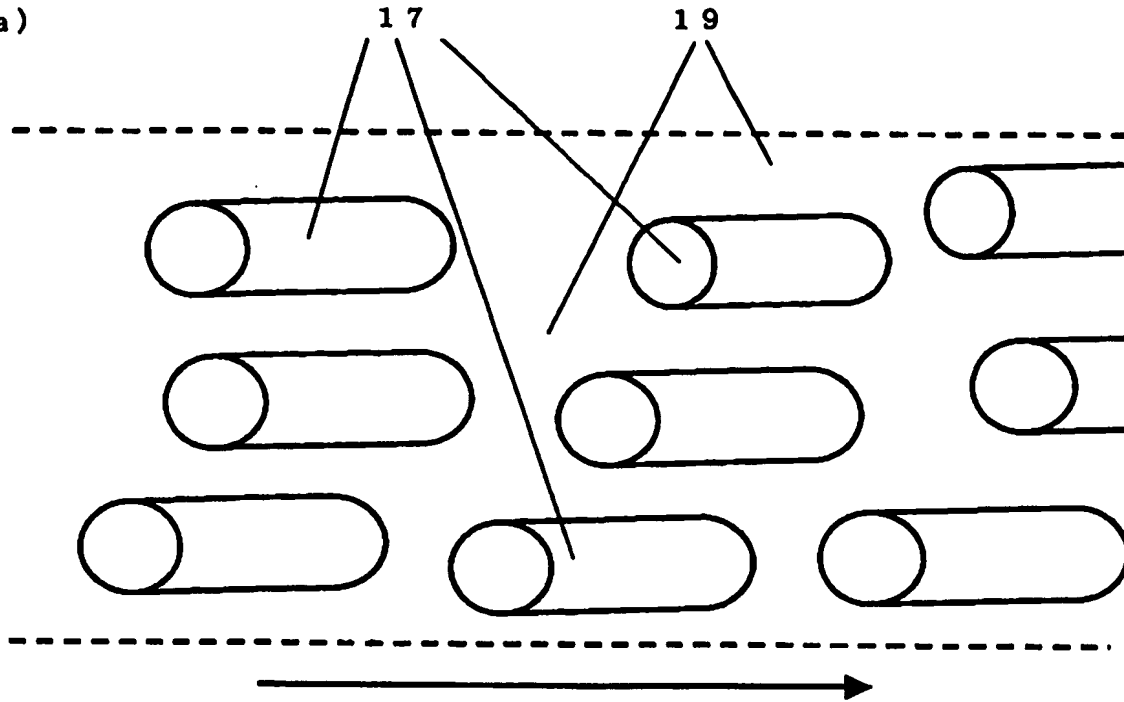


【図 5】

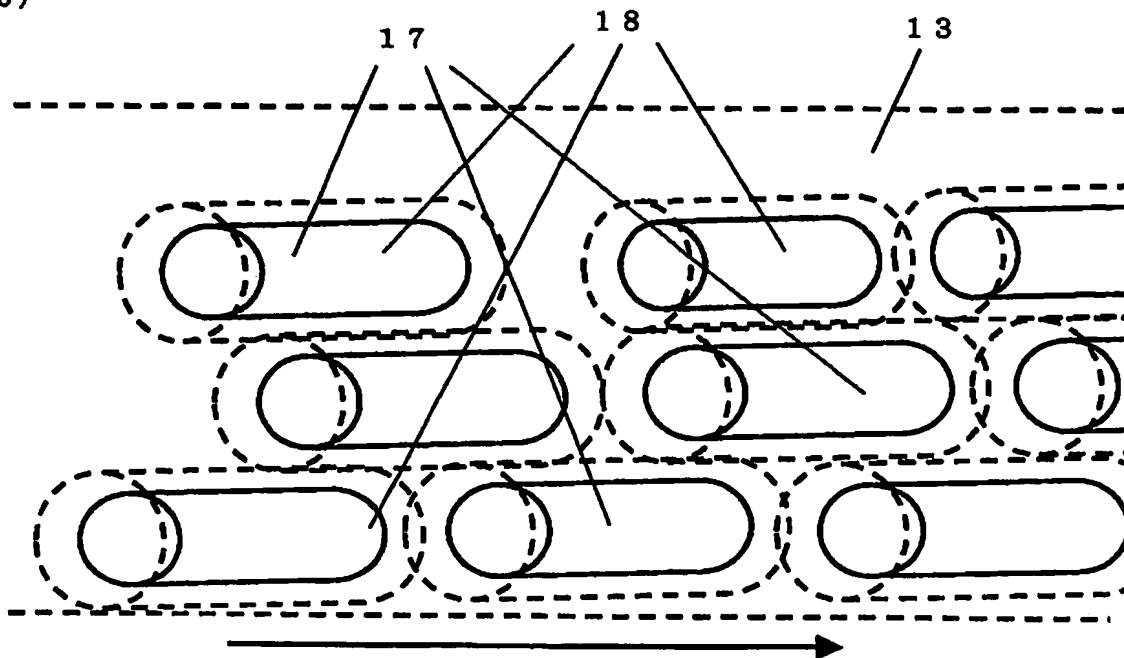


【図 6】

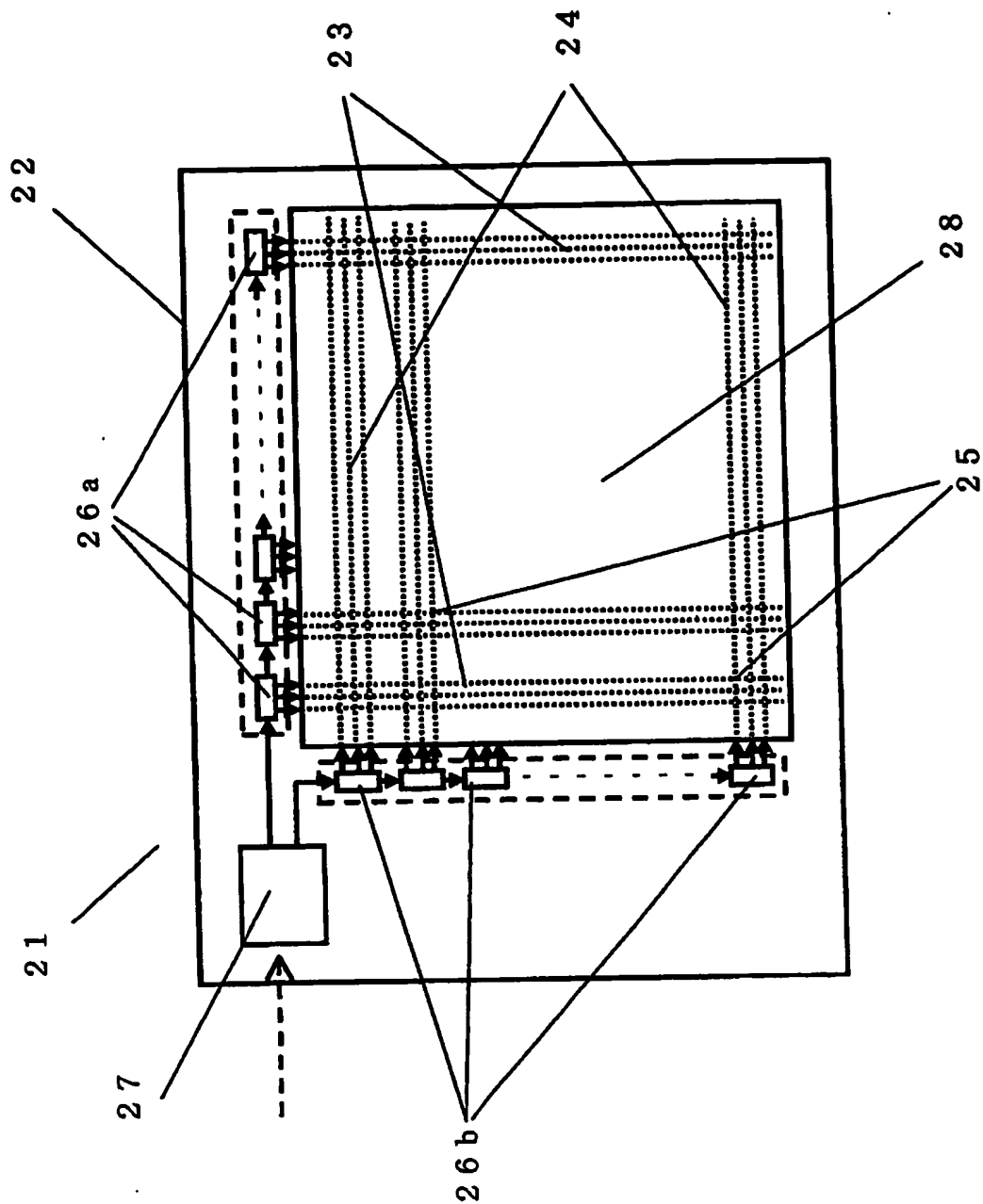
(a)



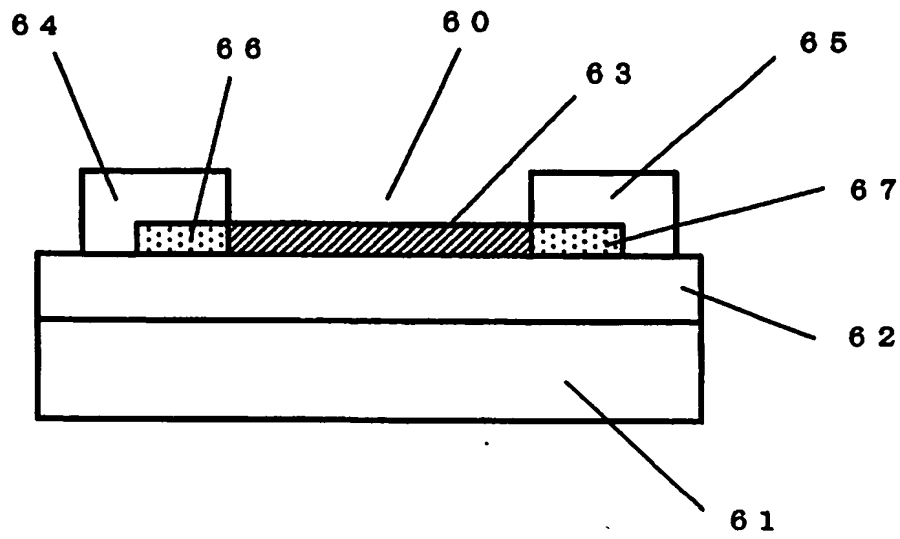
(b)



【図 7】



【図 8】



【書類名】要約書**【要約】**

【課題】有機半導体系とナノチューブ系の薄膜トランジスタの性質を補うため、半導体層を、上記双方の材料を混合して複合化することで形成した複合系半導体層とすることにより、極小の微細構造を必要とせずに製造がしやすく、特性が高くバラツキが少ない信頼性の高い薄膜トランジスタ（TFET）を提供することを目的とする。

【解決手段】ゲート絶縁層 3 と、これと接触させた半導体層 4 と、ゲート絶縁層 3 の一方の側に接触させた半導体層 4 とは反対側に設けたゲート電極 5 と、半導体層 4 の少なくとも一方の側に接触させて、ゲート電極 5 を挟むように位置合わせして設けたソース電極 6、ドレイン電極 7 とを含む薄膜トランジスタ 1 で、半導体層 4 が、少なくとも有機半導体とナノチューブ（NT）を複合して形成した複合系半導体層 9 であるように構成する。

【選択図】図 1



特願 2 0 0 3 - 2 7 5 8 9 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 8 2 1]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 8 日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地

氏 名

松下電器産業株式会社